

AGN 吸积盘辐射区半径的多方法研究

李富婷¹⁾, 张雄^{1)†}, 张皓晶¹⁾, 余莲¹⁾, 徐小林¹⁾, 任国伟¹⁾, 吴月承¹⁾,
晏培琳¹⁾

1) (云南师范大学物理与电子信息学院, 云南 昆明 650500)

摘要

通过收集数据, 用标准吸积盘方法, 短时标光变法, 连续波混响滞后法, 微引力透镜法分析了活动星系核吸积盘辐射区半径, 并对四种方法进行分析讨论。结果表明: (1) 将耀变体和类星体参数比较, 发现两子类的中心黑洞质量、光度和吸积盘辐射区半径都没有明显差别。本文选择了高光度源进行研究, 因此出现了两子类以上参数无明显区别的情况; (2) 短时标光变法得到的吸积盘辐射区半径比和黑洞质量没有明显的相关性; (3) 连续波混响滞后法得到的吸积盘辐射区半径比和黑洞质量的依赖性高于标准 α 盘模型法, 对于无法确定中心黑洞质量的源, 可以利用连续波混响滞后法得到吸积盘辐射区半径; (4) 微引力透镜法得到的吸积盘辐射区半径比和黑洞质量没有明显的相关性, 且该方法只适用于存在微引力透镜效应的类星体, (5) 这些方法从观测上证明了吸积盘辐射区半径与黑洞质量存在相关性, 验证了标准模型成立。为进一步在观测上寻找这四种方法所需要的源提供了理论上的指导。对活动星系核的吸积盘辐射区半径研究有重要意义。
关键词: 吸积盘辐射区半径; 黑洞质量; 吸积盘; 短时标光变; 连续波混响滞后; 微引力透镜

中图分类号: P157 文献标识码: 文章编号:

活动星系核 (AGN) 是非常特殊的一类河外高光度辐射、高偏振、超大质量中心黑洞的源, 其寄主星系被称为活动星系^[1]。现普遍认为 AGN 的星系中心有一个超大质量黑洞 ($10^6 - 10^{10} M_{\odot}$), 黑洞四周弥散的气体会在黑洞引力作用之下吞落到黑洞之中, 由此回旋成一个围绕黑洞的吸积盘。AGN 中最为极端的一个子类是耀变体 (Blazars), 其喷流指向观测者, 具有非常强的相对论聚束效应, 是研究黑洞吸积、电子加速机制、高能辐射过程非常理想的对象。如 M87 中心的光度尖点可以用一个质量约为 $3 \times 10^9 M_{\odot}$ 的超大质量黑洞进行解释^[2-3], 并利用哈勃望远镜得到证实。Arp 102B 和 3C 390.3 中巴耳末线的非对称双峰轮廓可以在弱场近似下用相对论吸积盘辐射进行解释^[4-5]; 观测结果显示活动星系核存在宽的、双峰的或者双肩的 H_{α} 发射线^[6], 以上证据证明了活动星系核存在超大质量黑洞和吸积盘。在天体的产能机制中, 引力能扮演着一个重要的角色。因此, 吸积盘模型建立、参数确定和吸积过程能够帮助研究者更加深入

*基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (U1231203) 资助, 国家自然科学基金资助项目 (N0:11663009) 资助, 云南省高校高能天体物理重点实验室资助

收稿日期:

修改日期:

作者简介: 李富婷, 女, 硕士研究生. 研究方向: 活动星系核. Email: 1341584166@qq.com

通讯作者: 张 雄, 男, 教授. 研究方向: 活动星系核. Email: ynzx@yeah.net

地研究活动星系核。活动星系核 (AGN) 中由于观测特征不同 (如 BL Lac 天体光谱中无强的发射线), 获得中心黑洞质量和吸积盘的辐射半径的方法也不同。本

文通过大量的参考文献,收集到最新数据,利用几种不同的方法得到的中心黑洞质量和吸积盘的辐射半径,对计算结果进行研究对比分析,获得了若干重要结论,为 AGN 的辐射机制研究进一步提供了重要参数。

1. 吸积盘辐射半径的计算方法

由于当前科学技术和观测上的限制,即使离地球最近的 AGN 吸积盘,我们也无法直接利用光学望远镜观测到并在空间上解析它,因此吸积盘辐射半径只能通过间接手段得到,例如:标准吸积盘方法,短时标光变法,连续波混响滞后法 (continuum reverberation lag),微引力透镜法,这些理论方法有各自的局限性而无系统的考虑。

1.1 标准 α 盘模型法

人们很早就开始研究吸积盘特性与模型,由于吸积盘粘滞过程的未知性,1973 年 Shakura 和 Sunyaev 引入 α 参数描写粘滞从而建立了著名的几何薄,光学厚标准 α 盘模型^[7-10]。盘的基本方程根据以下假设建立:引力由中心黑洞质量为 M_{BH} 天体决定,盘的自引力可以忽略;盘是稳定的;盘是轴对称的;在 $H/r \ll 1$ 的意义上,盘是几何薄的;转动主导 (开普勒的): $|v_r| \ll v_\phi$;垂直保持流体静力学平衡;盘在垂向是光学厚的;使用了一个特殊的粘滞律:粘滞应力张量的 $r\phi$ 分量正比于压强。

在标准 α 盘模型中,盘的等效温度依赖于盘的辐射半径即 $T \propto R^{-\frac{3}{4}}$,越接近中心盘表面温度越高。明显的,盘辐射为黑体辐射,高能光子主要来自盘的内区,而低能光子来自盘的外区。根据该理论模型,波长 λ 的吸积盘辐射区半径为^[11]

$$R = \left[\frac{45G\lambda^4 M_{BH}\dot{M}}{16\pi^6 h_p c^2} \right]^{\frac{1}{3}} = 9.7 \times 10^{15} \left(\frac{\lambda}{\mu m} \right)^{\frac{4}{3}} \left(\frac{M_{BH}}{10^9 M_\odot} \right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{\dot{M}}{\eta L_E} \right)^{\frac{4}{3}} \quad (1)$$

其中, \dot{M} 表示吸积率; h_p 表示普朗克常量; $\frac{L}{L_E}$ 表示已爱丁顿为单位的亮度;

$\eta = \frac{L}{(Mc^2)}$ 表示吸积效率,本文用 $\eta = 0.1$ 进行计算^[12-13]。

1.2 短时标光变法

光变是 AGN 重要观测特征^[14-15],表征 AGN 活动的剧烈程度,反映 AGN 辐射过程、辐射介质和辐射区域内外物理条件、结构变化。根据光变时标的量级不同,可按照光变时间的长短分为长时标光变、中时标光变和短时标光变。短时标光变是计算吸积盘辐射区半径的有效手段之一。

按照天体物理的稳定性理论,一个天体的振动频率及最大转动频率的量级都是

$$\left(\frac{GM}{R^3} \right)^{1/2}, \quad (2)$$

假设天体的变化周期为 τ ,则可以得到

$$\left(\frac{GM}{R^3} \right)^{1/2} = \frac{1}{\tau}, \quad (3)$$

简单变换后, $R = \frac{1}{\sqrt{2}} c\tau \left(\frac{2GM}{c^2 R} \right)^{1/2}$,对于质量为 M 黑洞, $\frac{2GM}{c^2 R} \approx 1$, $R = \frac{1}{\sqrt{2}} c\tau$ 。但黑洞附近的物质不稳定,按照吸积盘理论,一般取 $10 R_s$ 为可观测半径 (即辐射区

内半径, R_s 是星系核的史瓦西半径, $R_s \equiv \frac{2MG}{c^2} = 2.96 \times \frac{M}{M_\odot} \text{ km}$, 因此

$$\frac{2GM}{c^2 R} \leq \frac{1}{10}. \quad (4)$$

则可得到吸积盘辐射区内半径为

$$R \leq \frac{1}{\sqrt{2}} c \tau = \frac{c \sigma}{1+z} \tau_{obs}. \quad (5)$$

其中 c 为光速 (本文计算取 $c = 3 \times 10^{10} \text{ cm/s}$), σ 为 Doppler 因子, z 为源的红移, τ_{obs} 为观测到的最小光变时标。由于短时标光变在观测中具有随机性, 获取样品的吸积盘辐射区半径也变得较为困难。

1.3 连续混响滞后法

活动星系核的物理模型、光变机制等可以通过光曲线进行研究。光变曲线表征了天体活动的剧烈程度; 连续波与宽发射线之间存在时间滞后, 在假设滞后时间与光子从中心黑洞传播到宽线区的时间一致的情况下, 就可以进一步确定宽线区的大小、中心黑洞质量^[16-17]; 原则上, 连续波不同波段之间的时间滞后可以用来确定吸积盘结构, 例如吸积盘辐射区半径^[18-19]。

CCF 是计算两条光曲线时间延迟的传统方法之一^[20-21], 但该方法对采样条件和观测时间间隔等要求很高, 因此一般采用 JAVELIN^[22-23] 方法得到连续波在不同波段之间的时间滞后。姜飞燕等人利用 JAVELIN 方法检测到时间滞后随着光度的增加而增加, 且其值比标准 α 盘模型估计的大 2-3 倍^[22]。Mudd^[19] 等人在 JAVELIN 方法的基础上建立了 JAVELIN thin disk model 方法, 其结果与微引力透镜测量结果相一致, 例如 Mitsuru Kokubo^[24] 对类星体 PG 2308+098 的五个波段 (u, g, r, i 和 z 波段) 的光曲线进行研究, 认为较长的波段显示出更大的滞后, 且利用方程 (6) 得到 PG 2308+098 的吸积盘辐射区内半径大小

$$R = c \tau_{rest, 2500} = c \tau_{rest, u} \left(\frac{2500 \text{ \AA}}{\lambda_{u, rest}} \right)^{4/3} = c \frac{\tau_{obs, u}}{1+z} \left(\frac{2500 \text{ \AA}}{\lambda_{u, rest}} \right)^{4/3} \quad (6)$$

其中 $\tau_{obs, u}$ 表示由 u 波段光曲线的观测滞后, 当 $\lambda_{u, rest} = \frac{3551 \text{ \AA}}{1+z}$ 时, 得到 PG

2308+098 的吸积盘辐射区大小为 $9.46_{-3.12}^{+0.29}$ 光天。连续混响滞后法在应用观测数据, 计算吸积盘辐射区半径和中心黑洞质量方面非常实用^[16-17]。

1.4 微引力透镜法

在透镜高红移类星体中观察到的紫外-光学微透镜效应是由透镜星系中前景恒星的类星体吸积盘的透镜放大所引起的, 微透镜的变化率可用于研究透镜系统的质量, 类星体连续辐射区结构等。

利用微引力透镜效应, 例如 Pooley^[25] 研究了热辐射和非热辐射的 X 射线发射区尺寸, Morgan^[11] 研究了辐射区内半径和黑洞质量的相关性。

2. 相关数据

通过大量的参考文献, 我们用四种方法分别计算吸积盘辐射区半径的数据, 其中表一为用短时标法计算获得数据^[15], 依次为源名称、短时标、红移、Doppler 因子、辐射区半径比 (短时标方法得到 R_1)、光度、爱丁顿光度、黑洞质量和辐射区半径比 (标准吸积盘方法得到 R_{21})。表二为用连续波混响滞后数据, 依次为源名称、混响滞后时间、光度、爱丁顿光度、黑洞质量、辐射区半径比 (混响滞后方法得到 R_3) 和辐射区半径比 (标准吸积盘方法得到 R_{23})。表三为微引力透镜

数据依次为源名称、黑洞质量、辐射区半径比（微引力透镜方法得到 R_4 ）和辐射区半径比（标准吸积盘方法得到 R_{24} ）。表一中的源属于耀变体，表二、三中源为类星体，由于它们分属 AGN 不同子类，将其参数进行相关性对比分析，从图一、图二和图三可以看出，耀变体和类星体的黑洞质量、光度和吸积盘辐射区半径都没有明显差别，造成这一结果的原因可能是因为标准 α 盘模型的限定，本文选择了高光度源进行研究。根据标准 α 盘模型，吸积盘的辐射区半径依赖于黑洞质量，根据（1）式，依赖关系为 $\log R \propto 0.667 \log \left(\frac{M_{BH}}{10^9 M_\odot} \right)$ 。由于黑洞的史瓦西半径是正比于黑洞质量，利用以上数据，对三种方法得到的吸积盘辐射区半径比 $Y = \log \frac{R_{ij}}{R_s}$ 与黑洞质量 $X = \log \left(\frac{M_{BH}}{10^9 M_\odot} \right)$ 做线性拟合和相关性对比分析，线性相关图为图 4、5、6、7，相关性分析结果见表四，表中依次为斜率 A、截距 B、相关系数 r、置信概率 p 和天体的个数 N。根据线性相关图及表格四，我们可以得知除短时标法、微引力透镜方法外，其它几种方法得到的吸积盘辐射区半径比 $Y = \log \frac{R_{ij}}{R_s}$ 和黑洞质量 $\log \left(\frac{M_{BH}}{10^9 M_\odot} \right)$ 都有强相关性。将对表一、表二中两种方法得到的吸积盘辐射区半径比与爱丁顿光度做线性拟合，发现短时标光变法得到的吸积盘辐射区半径比与爱丁顿光度无明显相关关系，但连续波混响滞后法得到的吸积盘辐射区半径比与爱丁顿光度存在强相关关系（图 7： $R_1 r = 0.153, p = 0.558, N = 17$ ； $R_3: r = -0.857, p = 6.713 \times 10^{-12}, N = 38$ ），由于观测样品数少，以后会扩大样本数做进一步的分析与讨论。

表 1 短时标光变法相关数据
Table 1 Related data of short time standard light method

源名称	短时标 /h	红移	Doppler 因子	$\log \frac{R_1}{R_s}$	$\log L$ /erg s ⁻¹	$\log L_E$ /erg s ⁻¹	$\log \left(\frac{M_{BH}}{10^9 M_\odot} \right)$	$\log \frac{R_{21}}{R_s}$
0219+428	0.97	0.44	3.00	0.80	44.67	46.41	-0.93	1.26
0420-014	12.40	0.92	3.00	0.80	45.22	46.93	0.05	0.95
0537-441	12.70	0.89	3.12	0.79	45.29	46.68	0.09	1.04
0716+714	1.33	0.30	2.00	0.79	44.46	46.21	-0.92	1.26
0735+178	1.20	0.42	2.22	0.79	44.19	46.41	-0.96	1.11
0836+710	24.00	2.17	3.77	0.80	45.16	47.47	0.22	0.69
1253-055	1.37	0.54	5.10	0.80	44.70	46.62	-0.58	1.09
1510-089	0.88	0.36	2.90	0.80	44.51	46.48	-0.96	1.20
1749+096	1.36	0.32	2.80	0.79	44.16	46.53	-0.77	1.00
2223-052	0.83	1.40	2.76	0.79	45.11	46.53	-1.25	1.48
2230+114	11.85	1.04	3.17	0.80	44.89	46.89	0.03	0.86
2251+158	0.15	0.86	4.07	0.80	45.91	46.94	-1.72	1.76
1156+295	0.64	0.73	3.3	0.15	47.04	46.61	-0.50	1.84
2155+304	4.72	0.12	2.05	0.87	45.86	46.74	-0.38	1.36
1101+384	1.01	0.03	1.65	0.62	44.92	46.27	-0.85	1.37

1355-416	16.74	0.31	1.35	0.76	46.50	47.15	0.04	1.30
2141+175	1.36	0.21	2.24	0.48	45.99	46.59	-0.52	1.51

表一中的数据参考文献为[15]和[16]

表二 连续波混响滞后法相关数据

Table 2 Related data of continuum reverberation lag

源名称	Δt /d	$\log L$ /erg s ⁻¹	$\log L_E$ /erg s ⁻¹	$\log \left(\frac{M_{BH}}{10^9 M_\odot} \right)$	$\log \frac{R_3}{R_s}$	$\log \frac{R_{23}}{R_s}$
J022659.82-035015.0	1.50	44.57	45.42	-1.69	2.33	1.85
J022144.75-033138.8	7.34	45.28	46.39	-0.72	2.05	1.44
J022020.02-034331.1	3.81	44.62	45.48	-1.63	2.68	1.82
J022340.29-042852.4	1.74	45.03	46.52	-0.59	1.30	1.27
J084536.18+453453.6	6.78	45.41	46.74	-0.37	1.67	1.25
J084512.99+445208.9	4.59	45.93	46.54	-0.57	1.70	1.55
J084610.76+452153.1	5.38	46.14	47.28	0.17	1.03	1.13
J084341.41+444023.3	1.12	45.55	47.19	0.08	0.43	0.99
J083756.22+431713.4	5.81	46.06	47.07	-0.04	1.27	1.24
J083836.14+435053.3	5.87	45.99	47.05	-0.06	1.29	1.23
J083425.01+442658.2	1.03	45.88	47.07	-0.04	0.52	1.18
J084517.64+441004.9	3.25	46.22	47.12	0.01	0.97	1.26
J095701.58+023857.3	6.40	46.09	46.62	-0.49	1.76	1.55
J100029.15+010144.8	1.50	46.44	46.67	-0.44	1.08	1.64
J100421.01+013647.3	4.60	46.30	47.15	0.04	1.09	1.27
J100327.67+015742.4	3.99	46.35	46.95	-0.16	1.23	1.42
J100025.24+015852.0	4.00	45.23	46.55	-0.56	1.63	1.31
J122549.28+472343.7	2.38	45.42	45.85	-1.26	2.10	1.84
J142336.76+523932.8	4.01	45.71	46.80	-0.31	1.38	1.31
J141104.86+520516.8	6.73	46.14	47.09	-0.02	1.31	1.26
J141018.04+523446.0	3.97	45.98	46.57	-0.54	1.60	1.55
J140739.16+525850.7	3.51	45.42	46.80	-0.31	1.32	1.21
J141147.59+523414.5	0.88	45.63	46.99	-0.12	0.53	1.15
J141539.59+523727.9	1.75	44.78	46.98	-0.13	0.84	0.88
J142008.27+521646.9	7.00	46.44	47.44	0.33	0.98	1.12
J141138.06+534957.7	3.21	45.64	46.15	-0.96	1.93	1.72
J141811.34+533808.5	2.01	45.37	46.00	-1.11	1.88	1.73
J141358.90+542705.9	2.89	44.91	47.11	0.00	0.93	0.83
J141856.19+535844.9	9.25	46.35	46.81	-0.30	1.73	1.51
J142106.26+534406.9	7.00	46.29	47.13	0.02	1.29	1.28
J221504.35+010935.2	5.05	45.24	46.60	-0.51	1.68	1.28
J221434.82+001923.9	1.01	45.48	46.92	-0.19	0.66	1.15
J221447.75-002032.7	4.73	46.35	47.32	0.21	0.93	1.17
J221917.01-000757.5	1.78	45.10	45.56	-1.55	2.27	1.93

J222228.39+002640.6	5.65	45.22	46.72	-0.39	1.61	1.20
J232826.57+010207.8	5.24	46.09	46.51	-0.60	1.78	1.63
J232907.12+003416.6	4.25	45.73	46.79	-0.32	1.41	1.32
J233201.42-005655.2	5.76	45.81	47.35	0.24	0.99	0.97

表二中的数据参考文献为[18]

表三 微引力透镜法相关数据

Table 3 Related data of gravitational microlensing

源名称	$\text{Log} \left(\frac{M_{BH}}{10^9 M_{\odot}} \right)$	$\log \frac{R_4}{R_s}$	$\log \frac{R_{24}}{R_s}$
QJ 0158-4325	-0.80	1.22	1.43
HE 0435-1223	-0.30	1.53	1.17
SDSS 0924+0219	-0.96	1.49	1.42
FBQ 0951+2635	-0.05	1.68	1.19
SDSS 1004+4112	-0.41	0.84	1.13
HE 1104-1805	0.37	1.05	0.82
PG 1115+080	0.09	2.04	1.03
RXJ 1131-1231	-1.22	2.05	1.76
SDSS 1138+0314	-1.40	1.83	1.39
SBS 1520+530	-0.06	1.28	1.05
Q 2237+030	-0.05	1.17	0.95
HE 0047-1756	0.14	1.40	0.79
SBS 0909+532	0.29	0.91	0.74
QSO 0957+561	0.30	1.18	0.73
QSO 1017-207	0.23	1.22	0.76
HE 1413+117	-0.59	1.96	1.03
BJ 1422+231	0.68	1.56	0.61

表三中的数据参考文献为[11]和[27]

表四相关性分析结果

Table 4 The relationship

$X=\log \left(\frac{M_{BH}}{10^9 M_{\odot}} \right)$					
Y	A	B	r	p	N
$\log \frac{R_1}{R_s}$	-	-	-0.018	0.944	17
$\log \frac{R_{21}}{R_s}$	-0.333 ± 0.116	1.046 ± 0.091	-0.594	0.012	17
$\log \frac{R_3}{R_s}$	-0.878 ± 0.088	1.056 ± 0.056	-0.857	6.713×10^{-12}	38
$\log \frac{R_{23}}{R_s}$	-0.459 ± 0.046	1.174 ± 0.029	-0.858	5.66×10^{-12}	38
$\log \frac{R_4}{R_s}$	-0.274 ± 0.148	1.376 ± 0.091	-0.431	0.084	17
$\log \frac{R_{24}}{R_s}$	-0.478 ± 0.055	0.954 ± 0.034	-0.913	3.04×10^{-7}	17

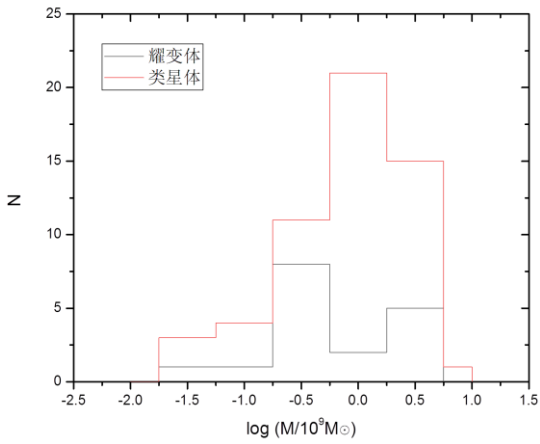


图 1 耀变体和类星体的黑洞质量分布

Fig.1 Black hole mass distribution of blazars and quasars

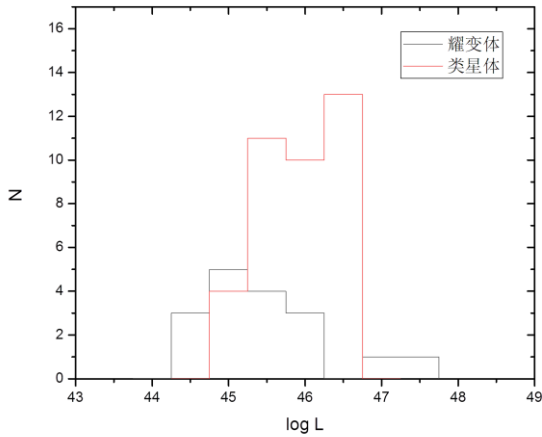


图 2 耀变体和类星体的光度分布

Fig.2 L distribution of blazars and quasars

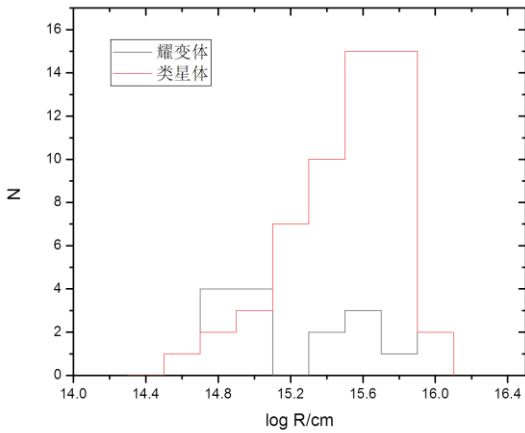


图 3 耀变体和类星体的吸积盘辐射区半径分布

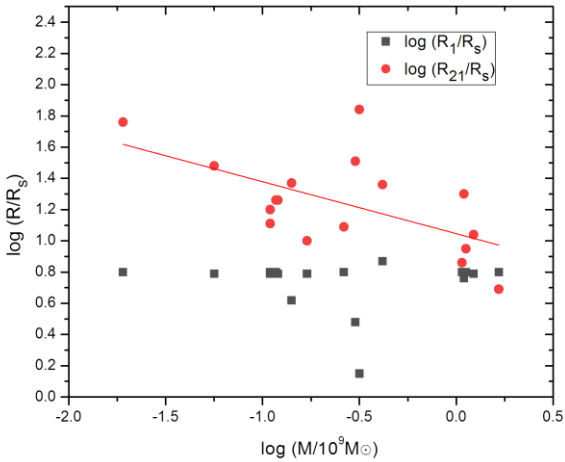


图 4 吸积盘辐射区半径比 ($\log \frac{R_1}{R_s}$ 或 $\log \frac{R_{21}}{R_s}$) 与黑洞质量的关系图

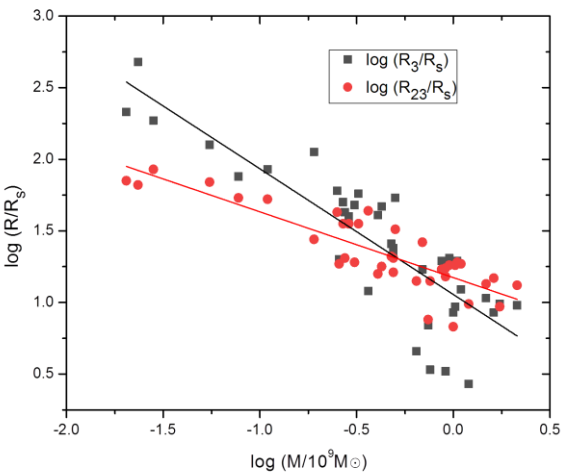


图5 吸积盘辐射区半径比 ($\log \frac{R_3}{R_s}$ 或 $\log \frac{R_{23}}{R_s}$) 与黑洞质量的关系图

Fig5 The relation between the accretion disk sizes ($\log \frac{R_3}{R_s}$ or $\log \frac{R_{23}}{R_s}$) and BH mass ($\log \left(\frac{M_{BH}}{10^9 M_\odot} \right)$)

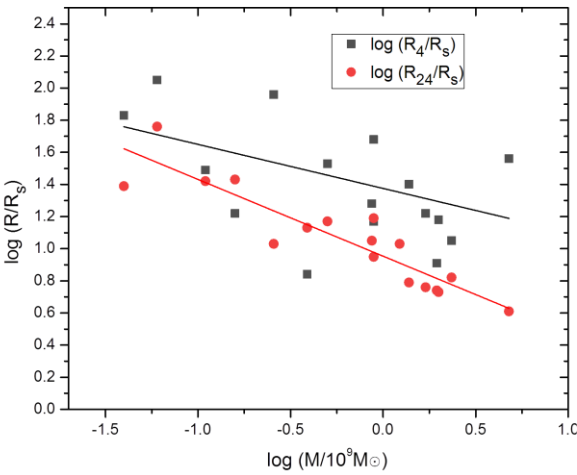
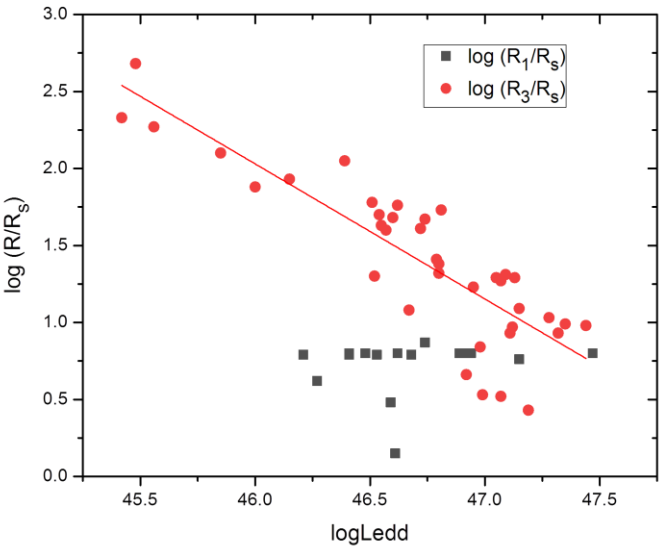


图6 吸积盘辐射区半径比 ($\log \frac{R_4}{R_s}$ 或 $\log \frac{R_{24}}{R_s}$) 与黑洞质量的关系图

Fig.6 The relation between the accretion disk sizes ($\log \frac{R_4}{R_s}$ or $\log \frac{R_{24}}{R_s}$) and BH mass ($\log \left(\frac{M_{BH}}{10^9 M_\odot} \right)$)



3 讨论与结论

根据以上数据分析, 我们得到以下结论:

(1) 在活动星系核中, 将耀变体和类星体的参数比较, 发现其两子类的中心黑洞质量、光度和吸积盘辐射区半径都没有明显差别。由于标准 α 盘的吸积是对应于高光度的 AGN, 通常在 0.01 倍爱丁顿光度以上, 本文选择了高光度源进行研究, 因此出现了两子类以上参数无明显区别的情况; (2) 短时标光变法得到的吸积盘辐射区半径比和黑洞质量没有明显的相关性, 造成这一结果的原因可能包括短时标光变的计算不考虑自旋、短时标光变法计算辐射区半径的公式没有质量参数和样本太少; 在我们今后的工作中, 将进一步加强观测, 增加获取有短时标光变的样品数; (3) 连续波混响滞后法得到的吸积盘辐射区半径比对黑洞质量的依赖高与标准 α 盘模型法, 但两种方法的吸积盘辐射区半径没有明显的差别, 因此对于无法确定中心黑洞质量的源, 可以利用连续波混响滞后法得到吸积盘辐射区半径; (4) 微引力透镜法得到的吸积盘辐射区半径比和黑洞质量没有明显的相关性, 且该方法只适用于存在微引力透镜效应的类星体, 对于源的选择有一定的局限性。但由于每种方法的数据较少, 以上结论仍需扩大样本进行进一步的验证, 或在短时标光变法的研究中考虑中心黑洞的自旋。

参考文献:

- [1] 黄克谅. 类星体和活动星系核[M]. 北京: 中国科学出版社, 2005.
- [2] Young, P. J., Westphal, J. A., Kristian, J., Wilson, C. P., Landauer, F. P. Evidence for a supermassive object in the nucleus of the galaxy M87 from SIT and CCD area photometry [J]. The Astrophysical Journal, 1978, 221: 721-730.
- [3] Sargent, W. L. W., Young, P. J., Boksenberg, A., Shortridge, K., Lynds, C. R., Hartwick, F. D. A. Dynamical evidence for a central mass concentration in the galaxy M87 [J]. The Astrophysical Journal, 1978, 221: 731-744.
- [4] Chen, K., Halpern, J. P. Structure of line-emitting accretion disks in active galactic nuclei - ARP 102B [J]. The Astrophysical Journal, 1989, 344: 115-124.
- [5] Chen, K., Halpern, J. P., Filippenko, A. V. Kinematic evidence for a relativistic Keplerian disk - ARP 102B [J]. The Astrophysical Journal, 1989, 339: 742-751.

- [6] Eracleous, M., Halpern, J. P. Doubled-peaked emission lines in active galactic nuclei [J]. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 1994, 90: 1-30.
- [7] Shakura, N. I., Sunyaev, R. A. Black holes in binary systems. Observational Appearance [J]. *Astronomy and Astrophysics*, 1973, 24: 337-355.
- [8] Novikov, I. D., Thorne, K. S. Astrophysics of black holes [J]. 1973, 343-450.
- [9] Lynden-Bell, D., Pringle, J. E. The evolution of viscous discs and the origin of the nebular variables [J]. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 1974, 168: 603-637.
- [10] Pringle, J. E. Accretion discs in astrophysics [J]. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 1981, 19: 137-162.
- [11] Morgan, C. W., Kochanek, C. S., Morgan, N. D., Falco, E. E. The Quasar Accretion Disk Size-Black Hole Mass Relation [J]. *The Astrophysical Journal*, 2010, 712: 1129-1136.
- [12] Soltan, A. Masses of quasars [J]. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 1982, 200: 115-122.
- [13] Yu, Q., Tremaine, S. Observational constraints on growth of massive black holes [J]. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 2002, 335: 965-976.
- [14] 熊定荣, 张雄, 郑永刚, 等. 射电类星体黑洞质量和射电特性的研究[J]. *天文学报*, 2012, 53 (5): 369-381.
- [15] 郑永刚, Blazar 天体的光变和 CCD 测光[D]. 云南师范大学, 2006.
- [16] Chen, Y.-Y., Zhang, X., Xiong, D.-R., Wang, S.-J., Yu, X.-L. 2016. The beaming effect and γ -ray emission for Fermi blazars. *Research in Astronomy and Astrophysics* 16, 13.
- [17] Blandford, R. D., McKee, C. F. Reverberation mapping of the emission line regions of Seyfert galaxies and quasars [J]. *The Astrophysical Journal*, 1982, 255: 419-439.
- [18] Peterson, B. M. Reverberation mapping of active galactic nuclei [J]. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 1993, 105: 247-268.
- [19] Jiang, Y.-F., and 23 colleagues. VizieR Online Data Catalog: Continuum-band lags in SDSS QSOs from PS1 obs. (Jiang+, 2017) [J]. *VizieR Online Data Catalog*, 2017, 183, .
- [20] Mudd, D., and 72 colleagues. Quasar Accretion Disk Sizes from Continuum Reverberation Mapping from the Dark Energy Survey [J]. *The Astrophysical Journal*, 2018, 862: 123.
- [21] Peterson, B. M., Wanders, I., Horne, K., Collier, S., Alexander, T., Kaspi, S., Maoz, D. On Uncertainties in Cross-Correlation Lags and the Reality of Wavelength-dependent Continuum Lags in Active Galactic Nuclei [J]. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 1998, 110: 660-670.
- [22] Welsh, W. F. 1999. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* 111, 1347-1366.
- [23] Zu, Y., Kochanek, C. S., Peterson, B. M. 2011. *The Astrophysical Journal* 735, 80.
- [24] Zu, Y., Kochanek, C. S., Kozłowski, S., Udalski, A. 2013. *The Astrophysical Journal* 765, 106.
- [25] Kokubo, M. 2018. *Publications of the Astronomical Society of Japan* 70, 97.
- [26] Pooley, D., Blackburne, J. A., Rappaport, S., Schechter, P. L. 2007. *The Astrophysical Journal* 661, 19-29.
- [27] Jiménez-Vicente, J., Mediavilla, E., Muñoz, J. A., Kochanek, C. S. 2012. *The Astrophysical Journal* 751, 106.

Multi-method study on radius of radiation zone of AGN accretion disk

LiFuting , Zhang Xiong† ,ZhangHaojing , Yu Lian ,XuXiaoling ,RenGuowei , WuYuecheng ,

YanPeilin

(College of Physics and Electronics , Yunnan Normal University , Kunming , China , 650500)

Abstract: We analyzed the radius of the radiation area of AGN accretion disk by standard accretion disk method, short time optical variation method, continuum reverberation lag method and gravitational microlensing method. The results show that: (1) there is no significant difference in the M_{BH} , the luminosity or the radius of the radiation area of the accretion disk between the blazars and the quasars. This paper selects the high luminosity source for research, so there is no obvious difference above parameters of the subcategory; (2) The radius ratio of the radiation area of AGN accretion disk obtained by the short time optical variability has not a dependence on the M_{BH} ; (3) The radius ratio of radiation area of AGN accretion disk obtained by the continuous reverberation lag method is more dependent on the black hole than the standard α disk model method. For the source that cannot determine the M_{BH} , the radius of radiation area of AGN accretion disk can be obtained by the continuous reverberation lag method;(4) There is no obvious correlation between the radius of radiation area of AGN accretion disk by the gravitational microlensing method and the M_{BH} , and the method is only applicable to quasars with micro-gravitational lens effects;(5) These methods prove that the radius of the radiation area of AGN accretion disk is directly proportional to the mass of the black hole, which verifies that the standard model is established. Provides theoretical guidance for further exploration of the sources needed for these four methods. It is important to study the radius of the radiation area of AGN accretion disk.

Key words: radius of the accretion disk radiation area; black hole mass; accretion disks; short time optical variability; continuum reverberation lag; gravitational microlensing